

**CARACTERIZACIÓN, MEDIANTE RESISTENCIA A LA  
POLARIZACIÓN LINEAL LPR Y CURVAS DE POLARIZACIÓN  
TAFEL CP, DE LA CASCARILLA DE CAFÉ COMO INHIBIDOR DE  
CORROSIÓN.**

**JHONATAN ESTIVEN RINCON ACOSTA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA  
ÁREA DE MATERIALES  
PEREIRA**

**2018**

**CARACTERIZACIÓN, MEDIANTE RESISTENCIA A LA  
POLARIZACIÓN LINEAL LPR Y CURVAS DE POLARIZACIÓN  
TAFTEL CP, DE LA CASCARILLA DE CAFÉ COMO INHIBIDOR DE  
CORROSIÓN.**

**JHONATAN ESTIVEN RINCON ACOSTA**

Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero mecánico

**Director JOSÉ LUIS TRISTANCHO R., M.Sc., Ph.D.**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**

**FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA**

**ÁREA DE MATERIALES**

**PEREIRA**

**2018**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Pereira 07 de febrero de 2018

## **Dedicatoria**

A mis padres por ser la base fundamental en todo lo que soy, en mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo a través del tiempo.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

## **Agradecimientos**

Quisiera empezar por medio de estas líneas agradeciendo a todas aquellas personas que de alguna manera ayudaron con la realización de este trabajo, en especial al Doctor José Luis Tristancho, Director de la investigación, por la orientación, supervisión y seguimiento de la misma.

A la ingeniera Jessica Alejandra Agudelo Bedoya por su colaboración y acompañamiento a la hora de realizar los experimentos que se realizaron en este proyecto.

También quiero dar las gracias a todas aquellas personas que confiaron en mí y que brindaron su apoyo, familia y amigos, a todos ellos muchas gracias.

## **CONTENIDO**

	<b>Pág.</b>
❖ INTRODUCCIÓN	8
❖ PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
❖ MARCO TEÓRICO	11
➤ Corrosión	11
▪ Uniforme	11
▪ Localizada	11
▪ Por ataque	11
▪ Por agrietamiento	11
▪ Por erosión	11
▪ Galvánica	11
▪ Por altas temperaturas	11
❖ OBJETIVO GENERAL	12
➤ Objetivos específicos	12
❖ METODOLOGÍA Y EXPERIMENTACIÓN	13
❖ ANÁLISIS DE RESULTADOS	15
❖ CONCLUSIONES, APORTES Y RECOMENDACIONES	16
❖ BIBLIOGRAFÍA	17

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A Pruebas electroquímicas a las 0 horas	18
Anexo B Pruebas electroquímicas a las 24 horas	19
Anexo C Pruebas electroquímicas a las 48 horas	20
Anexo D Pruebas electroquímicas a las 72 horas	21
Anexo E Pruebas electroquímicas a las 0 horas con inhibidor a 5%	22
Anexo F Pruebas electroquímicas a las 24 horas con inhibidor a 5%	23
Anexo G Pruebas electroquímicas a las 48 horas con inhibidor a 5%	24
Anexo H Pruebas electroquímicas a las 72 horas con inhibidor a 5%	25

## ❖ INTRODUCCIÓN

La corrosión es un fenómeno que afecta a gran parte de los materiales metálicos, en especial a los aceros, este proyecto tiene como objetivo observar el comportamiento de la cascarilla de café como inhibidor en un acero ANSI SAE 1045.

La idea del proyecto se originó en respuesta a la necesidad de utilizar inhibidores amigables con el medio ambiente, biodegradables, de fácil utilización, orgánicos y a bajo costo para el sector industrial.

Con este estudio se espera obtener el soporte necesario para verificar el comportamiento inhibidor de la cascarilla de café en este acero en particular. Dependiendo de los resultados también se espera validar o refutar el uso de este inhibidor contra la corrosión.

Esta caracterización se espera obtener mediante técnicas electroquímicas de resistencia a la polarización lineal y curvas de polarización TAFEL CP para evaluar el comportamiento inhibidor de la cascarilla de café.



## ❖ PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La corrosión es un fenómeno que viene afectando a la humanidad desde sus inicios hasta ahora, este se observa sobre todo en los metales, siendo una de las muchas causas que acortan la vida útil de los materiales metálicos [1].

La historia nos ha demostrado que con la corrosión se debe tener mucho cuidado, anualmente en el mundo se invierten millones de dólares para tratar de proteger las estructuras metálicas de este fenómeno.

Uno de los problemas a enfrentar consiste en la diversidad en la que la corrosión ataca y en los medios que se presenta. Algunas de estas presentaciones pueden ser:

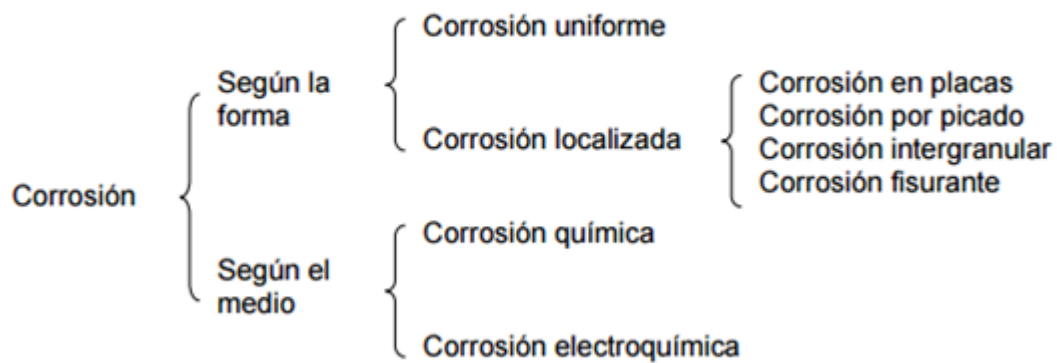


Figura 1. [7]

Al ser el acero uno de los elementos más utilizados en las estructuras metálicas, se requiere tener muy presente los diferentes tipos de corrosión y como puede ser combatida.

Para corregir este problema se han realizado muchos esfuerzos a través de la historia [2] y se han diseñado inhibidores para tratar de mitigar un poco el problema [3], un ejemplo de esto es la pintura, que evita que la superficie donde se aplica se oxide.

De no ser corregido, el efecto corrosivo puede ser devastador para las estructuras metálicas, algunos de estos inconvenientes pueden ser:

1. Mayor gasto en recubrimientos de películas orgánicas (pinturas). [4]
2. Deterioro de las propiedades mecánicas y estéticas de los metales.
3. Contaminación del medio ambiente. [5]
4. Mayores gastos por mantenimiento de estructuras metálicas. [6]

## ❖ MARCO TEÓRICO

### ➤ Corrosión

Son muchas las definiciones que podemos darle a este fenómeno conocido también como oxidación, se puede definir como un proceso químico que sufren los metales en presencia de varios agentes oxidantes. Igualmente podríamos decir que se trata de la destrucción o deterioro de continuo a través del tiempo de un material debido a una reacción química o electroquímica con el medio ambiente o el micro ambiente donde se encuentra trabajando u operando el material en cuestión.[8]

Cada material tiene dependiendo del ambiente que lo rodea y los agentes a los que este expuesto, un ejemplo claro es la oxidación del acero y el aluminio, la sal y el agua afectan drásticamente el acero creando una película superficial de color marrón y debilitando el metal, cosa diferente el aluminio que a pesar de que también se oxida esta capa protege el interior del material.

Existen muchos tipos de corrosión:

- Uniforme: En este caso el metal es afectado uniformemente, quedando la superficie cubierta con los residuos resultantes del proceso de corrosión.[8]
- Localizada: El ataque se da como pequeños agujeros tipo pitting (picadura), los cuales son de forma irregular que a menudo se conectan entre sí.[8]
- Por ataque selectivo: Esta forma es semejante a la anterior pero se distribuye en áreas extensas.[8]
- Por agrietamiento: Puede aparecer como resultado de la corrosión únicamente y se denomina fatiga por corrosión o de la combinación de esfuerzos cíclicos o estáticos, que se conoce como agrietamiento por corrosión y esfuerzos.[8]
- Por erosión: Hay casos en que los metales son expuestos en ambientes agresivos o propicios para un proceso de corrosión y los productos de este se desprenden del metal generándose erosión y con ella la desintegración.[8]
- Galvánica: Este fenómeno se puede dar entre zonas distintas del mismo material o entre materiales distintos que están en contacto y en presencia de un electrolito determinado generando ataque sobre uno de los dos a cambio de la protección del otro, lo cual es conocido como corrosión galvánica.[8]
- Por altas temperaturas: El acero es una aleación hierro-carbono que es susceptible a transformaciones en sus fases constitutivas al ser expuesto a altas temperaturas, las cuales tienen comportamientos diferentes a un ataque por corrosión.[8]

## ❖ **OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar mediante técnicas electroquímicas el efecto inhibidor de la cascarilla del café al someter el acero ANSI SAE 1045 a ataque corrosivo en solución salina a 3,5% en peso.

### ➤ **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar el acero ANSI SAE 1045, mediante técnicas electroquímicas con inhibidor en medio salino.
- Obtener curvas de polarización TAFPE CP.
- Determinar la velocidad de corrosión en el acero ANSI SAE 1045 con y sin inhibidor.
- Determinar el efecto inhibidor del acero ANSI SAE 1045 expuesto en medio salino.
- Evaluar y comparar los resultados de los ensayos para el acero ANSI SAE 1045.

## ❖ METODOLOGÍA Y EXPERIMENTOS

Lo primero que se realizó para el desarrollo de este proyecto fue una revisión bibliográfica en libros, revistas, artículos científicos y la web para tener los conocimientos necesarios actualizados, esta revisión se llevó a cabo desde el inicio del proyecto hasta el fin del mismo.

Luego se procedió a preparar el inhibidor de la cascarilla de café, esto se hizo de la siguiente manera:

1. Se obtuvo aproximadamente 20 kg de cascarilla de café.
2. Se secó la cascarilla de café en el horno disponible en el laboratorio de materiales de la facultad de ingeniería mecánica.
3. Se molió la cascarilla de café.
4. Se tamizó hasta llevarla a un polvo muy fino.
5. Se coció hasta punto de ebullición y se extrajo el zumo de la cascarilla de café.
6. Se mezcló el zumo de la cascarilla de café con solución salina al 3,5% en peso (NaCl).

Después de esto se prepararon las probetas de ANSI SAE 1045, que se maquinaron en el laboratorio de máquinas y herramientas de la facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira.

También se maquinaron los electrodos de trabajo, los cuales son probetas de 20mm de diámetro y 5mm de espesor de acero ANSI SAE 1045, que se unieron a un alambre de cobre (conductor) (Ver figura 2).

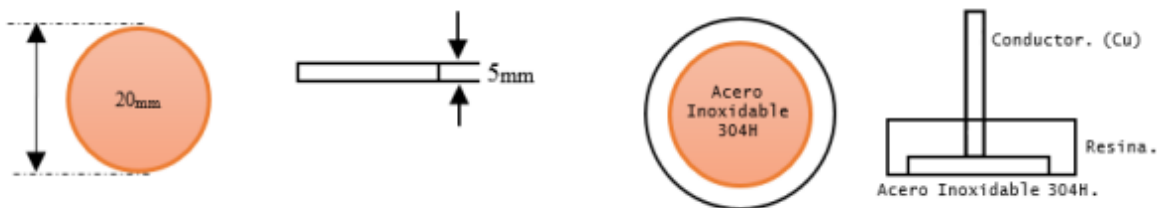


Figura 2. Diagrama electrodos de trabajo.

Los experimentos se realizaron en las instalaciones de la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira.

Para llevar a cabo las pruebas se utilizaron 2 probetas de acero AISI 1045, una se utilizó solo con presencia de salmuera y la restante se expuso a la mezcla de salmuera con 3,5% en peso de destilado de cascarilla de café.

Se ejecutaron las pruebas teniendo en cuenta un cronograma previamente elaborado, el cual tenía programado los horarios para realizar las pruebas Taffel y LPR.

Este cronograma consistía en pruebas periódicas cada 24 horas de exposición al agente corrosivo, en este caso se trata de salmuera, se realizaron pruebas Taffel y LPR, con ayuda de estas calculamos las pendientes Taffel y estas pendientes nos ayudaron a encontrar la velocidad de corrosión. Este proceso se ejecutó desde las 00 horas hasta las 72 horas.

## ❖ ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de la culminación de los experimentos y la recolección de los datos de las 2 probetas de acero SAE 1045, se encontró que la velocidad de corrosión en la probeta sometida a la mezcla de café y salmuera fue inferior que la probeta solo expuesta a salmuera.

También se pudo notar que a pesar de que la velocidad de corrosión en la probeta con presencia del inhibidor al principio fue mayor que la otra muestra, llega a un punto en que el inhibidor hace efecto y disminuye la velocidad de corrosión hasta el final del experimento.

En la tabla a continuación se recopilan los datos del material de muestra sometido solo a la salmuera:

Horas	Pendiente ( $\frac{mv}{dec}$ )		Velocidad de corrosión (MPY)
	Catódica	Anódica	
0	-648,63	-5,95	37,61
24	-283,48	110,24	5,39
48	-171,27	62,7	5,01
72	-69,29	30,79	2,98

**MPY: pulgadas por año,  $\frac{mv}{dec}$ : milivoltios por decada**

En la siguiente tabla se enseñan los resultados de la segunda probeta y la mezcla de salmuera con el extracto de la cascarilla de café:

Horas	Pendiente ( $\frac{mv}{dec}$ )		Velocidad de corrosión (MPY)
	Catódica	Anódica	
0	-265,84	-9,62	81,94
24	149,76	119,49	3,4
48	-70,23	79,36	1,75
72	141,64	85,57	2,94

**MPY: pulgadas por año,  $\frac{mv}{dec}$ : milivoltios por decada**

## ❖ CONCLUSIONES, APORTES Y RECOMENDACIONES

- A pesar de que el experimento fue corto, basándonos en los datos obtenidos, se puede inferir que el extracto de la cascarilla de café sirve como inhibidor de la corrosión, haciendo que este proceso sea más lento, alargando la vida útil del material y disminuyendo la velocidad de corrosión.
- Se recomienda que a la hora de preparar las probetas estas estén bien lijadas, ya que los rayones profundos o superficies no uniformes afectan los resultados de la prueba.
- Tener especial cuidado a la hora de calcular el peso específico del metal que se va a probar, porque este cálculo influye de manera directa en los resultados.
- Antes de realizar la medición de las pendientes anódicas y catódicas se recomienda dejar nivelar el potencial de reposo del material, ya que esto puede afectar los datos tomados en la prueba.

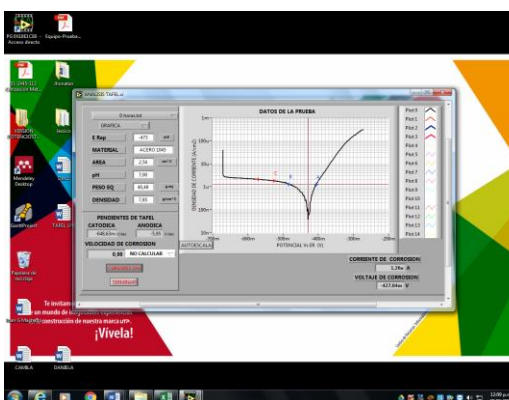
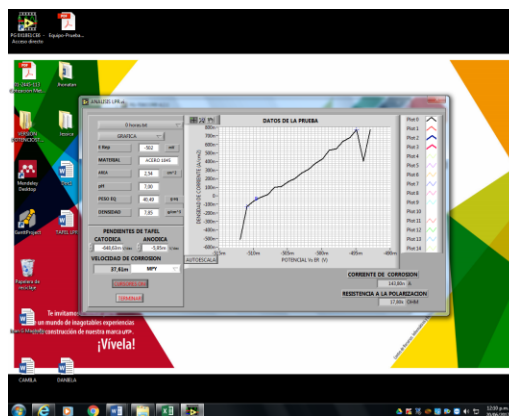
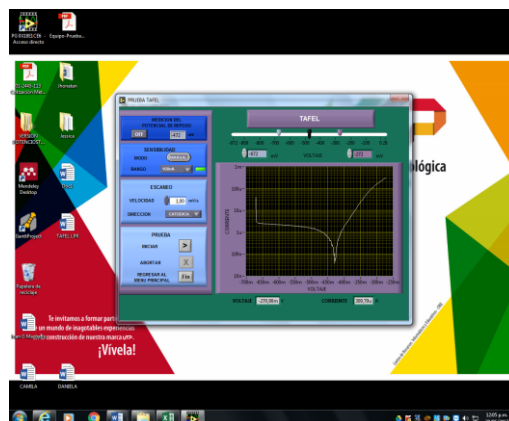


## ❖ BIBLIOGRAFÍA

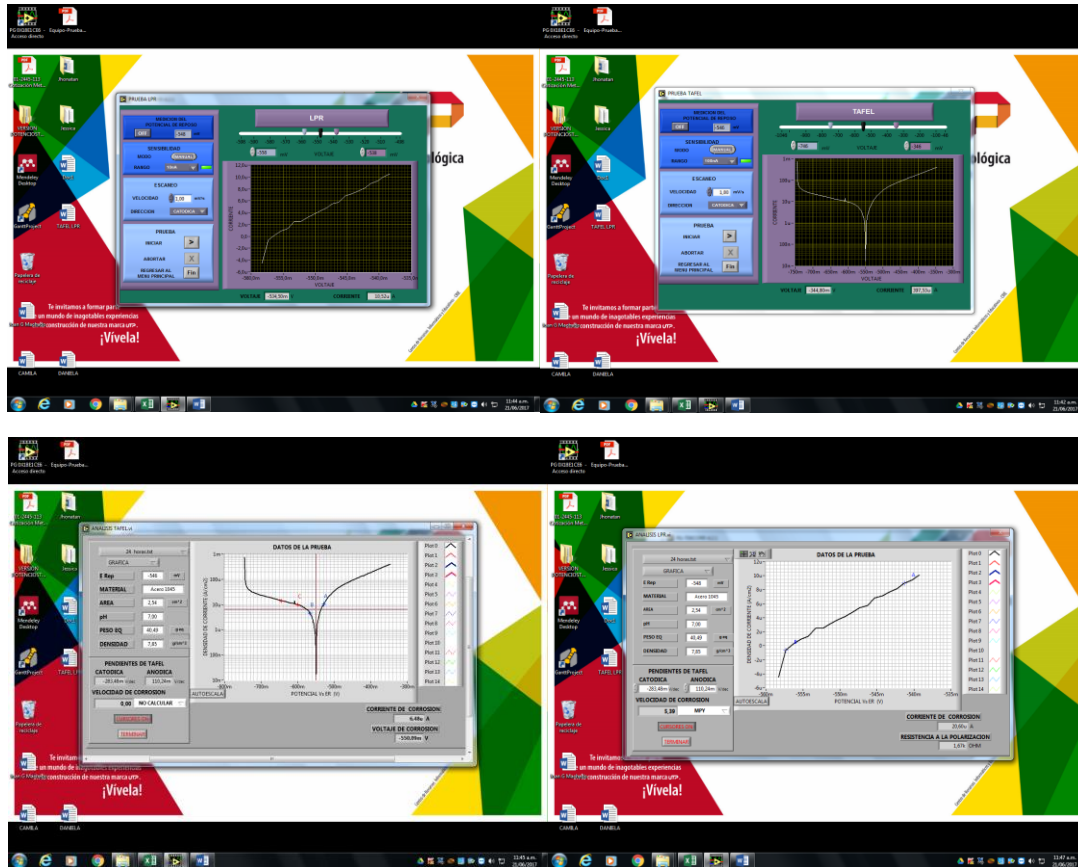
1. UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA. Capítulo VII durabilidad [en línea]. <[https://www.uclm.es/area/ing\\_rural/Normativa/EAE/capitulo7.pdf](https://www.uclm.es/area/ing_rural/Normativa/EAE/capitulo7.pdf)> [citado en 01 de noviembre del 2017]
2. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES. Corrosión [en línea]. <[http://www.etsin.upm.es/sfs/E.T.S.I.%20Navales/Servicio%20de%20Publicaciones/REP\\_OSITORIO%20DE%20DOCUMENTOS/CUARTO%20CURSO/32-Corrosi%C3%B3n.pdf](http://www.etsin.upm.es/sfs/E.T.S.I.%20Navales/Servicio%20de%20Publicaciones/REP_OSITORIO%20DE%20DOCUMENTOS/CUARTO%20CURSO/32-Corrosi%C3%B3n.pdf)> [citado en 01 de noviembre del 2017]
3. QUIMICOS SIAMEX. Venta de inhibidor de corrosión [en línea]. <[http://www.productosquimicosmexico.com.mx/inhibidor\\_de\\_corrosion.aspx](http://www.productosquimicosmexico.com.mx/inhibidor_de_corrosion.aspx)> [citado en 01 de noviembre del 2017]
4. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA. 5.6. Protección mediante recubrimientos. [en línea]. <[https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12\\_5\\_6.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12_5_6.html)> [citado en 01 de noviembre del 2017]
5. GRUPO CIERRO COOPER S.A. DE C.V. La corrosión afecta a todos los materiales, incluso al medio ambiente. [en línea]. <<http://www.cirrocooper.com.mx/2013/03/la-corrosion-afecta-a-todos-los-materiales-incluso-al-medio-ambiente/>> [citado en 01 de noviembre del 2017]
6. REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA DE LA UNIVERSIDAD VERACRUZANA VOLUMEN XX NÚMERO 2. Corrosión: fenómeno natural, visible y catastrófico. [en línea]. <<http://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol20num2/articulos/corrosion/>> [citado en 01 de noviembre del 2017]
7. FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES. Trabajo practico número 3 “Corrosión”. [en línea]. <<http://materias.fi.uba.ar/6303/TPN3.pdf>> [citado en 01 de noviembre del 2017]
8. UNIVERSIDAD LIBRE. Conceptos básicos de la corrosión [en línea] <<http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista5/articulos/Conceptos-basicos-de-la-corrosion-2.pdf>> [citado en 20 de diciembre del 2017]

## ANEXOS

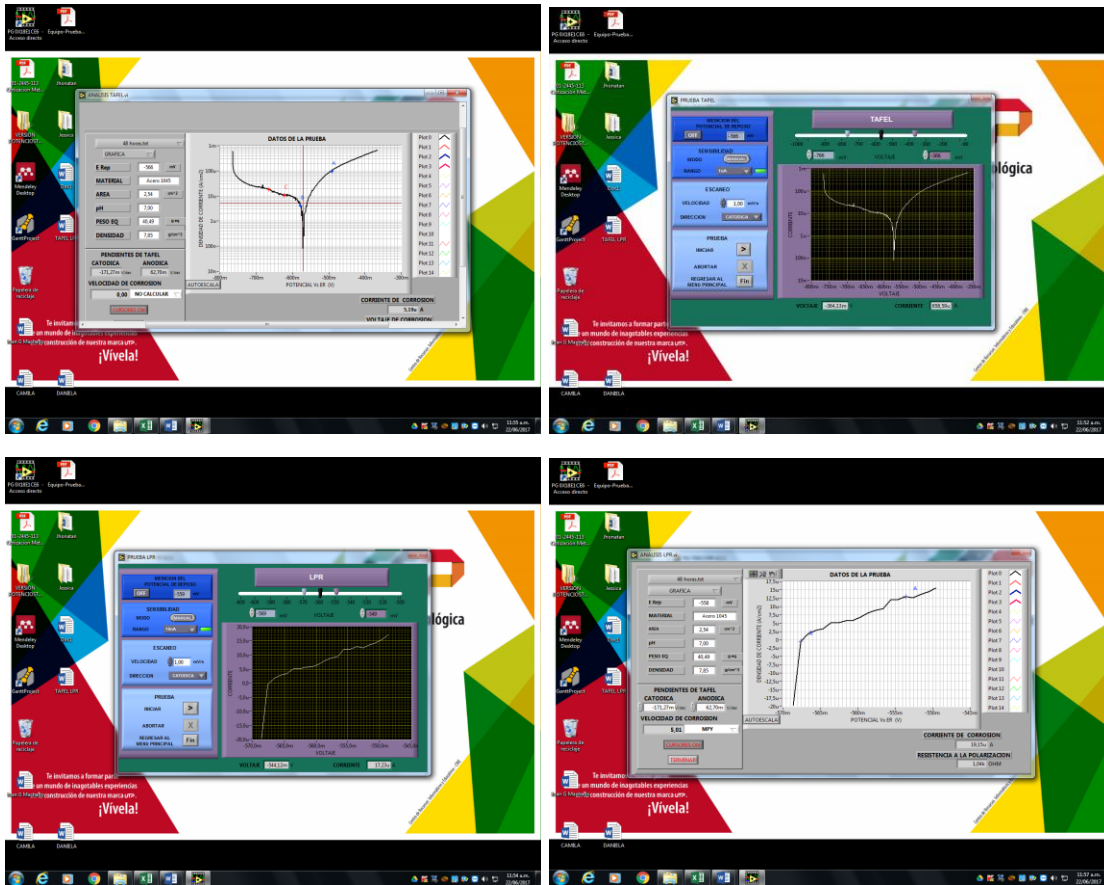
## Anexo A Pruebas electroquímicas a las 0 horas.



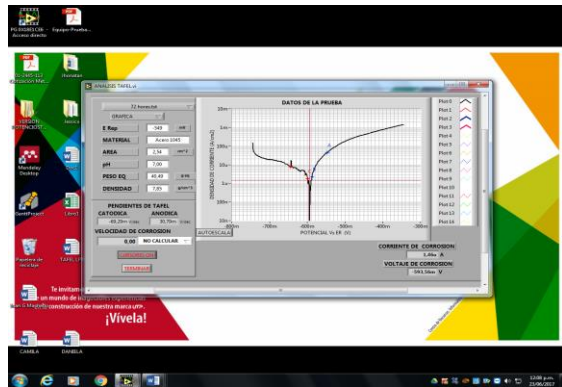
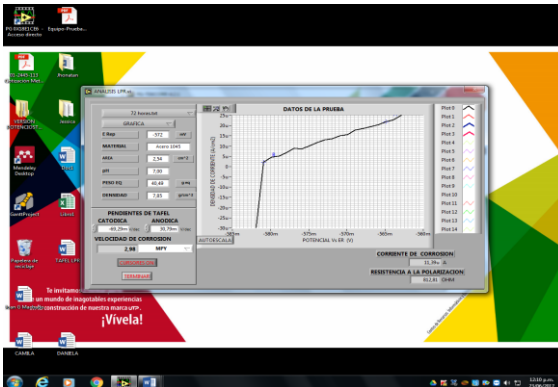
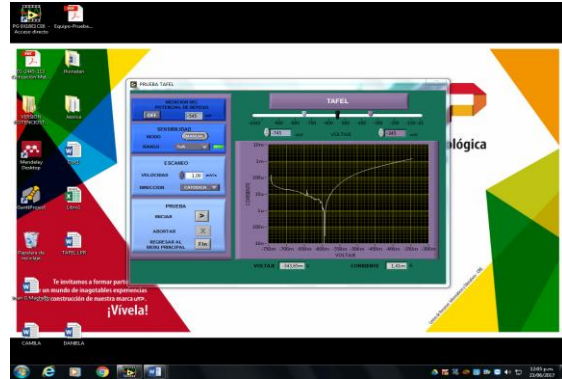
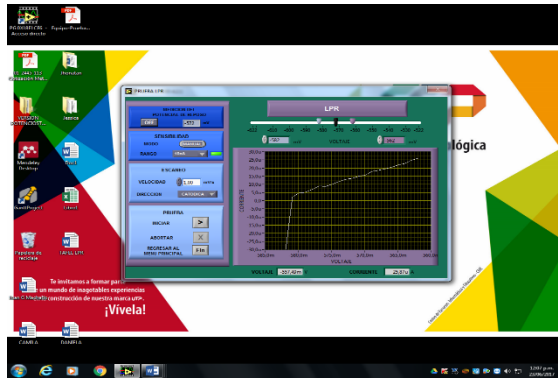
## Anexo B Pruebas electroquímicas a las 24 horas.



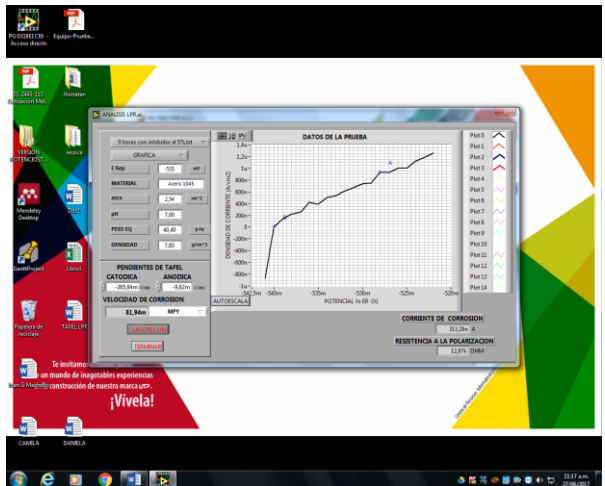
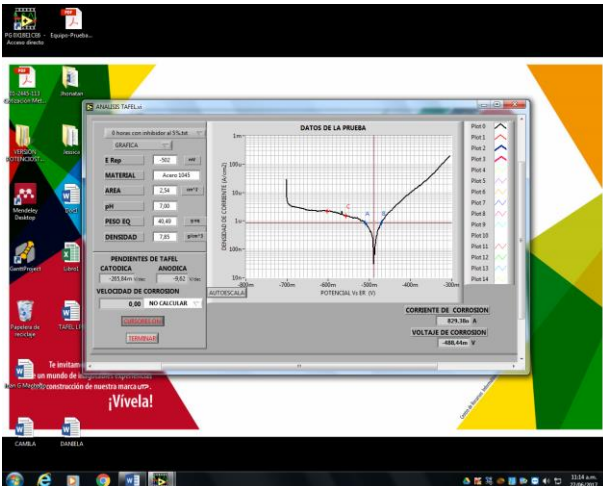
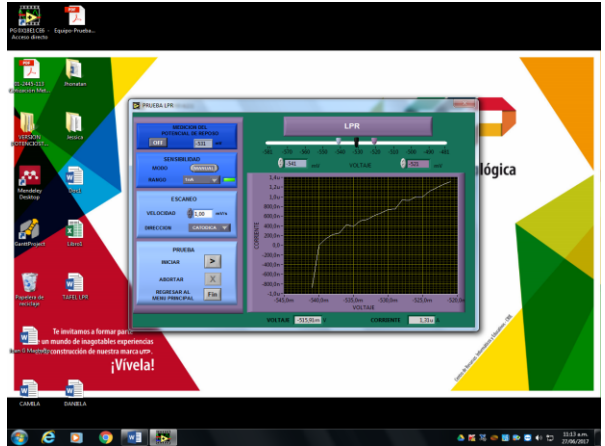
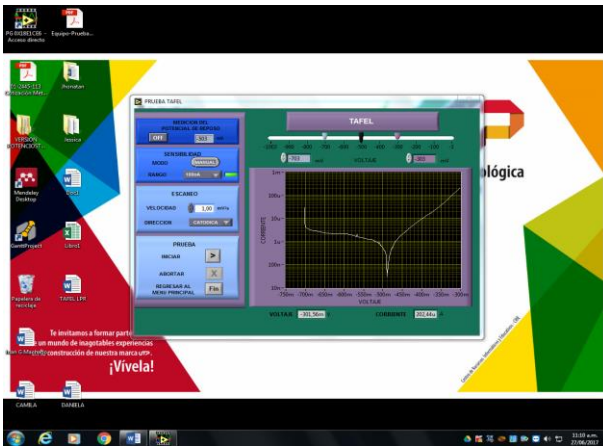
## Anexo C Pruebas electroquímicas a las 48 horas.



## Anexo D Pruebas electroquímicas a las 72 horas.

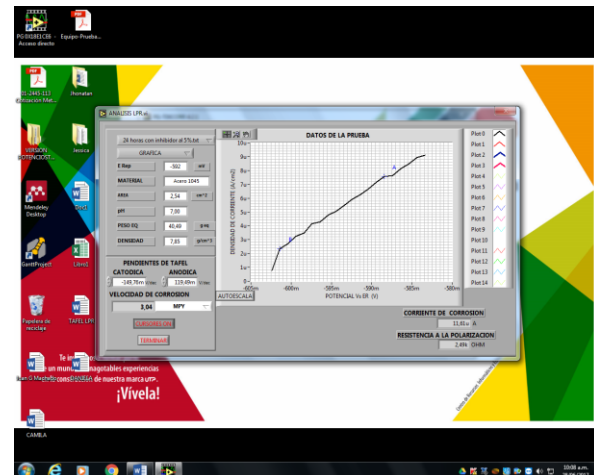
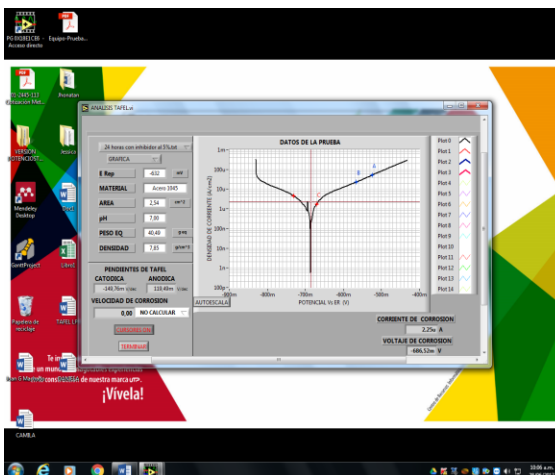
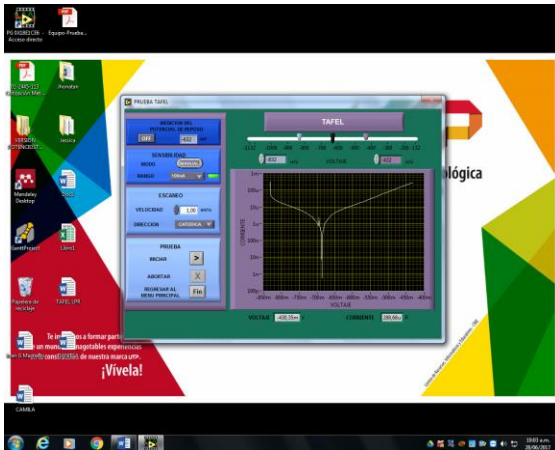


## Anexo E Pruebas electroquímicas a las 0 horas con inhibidor al 5%.

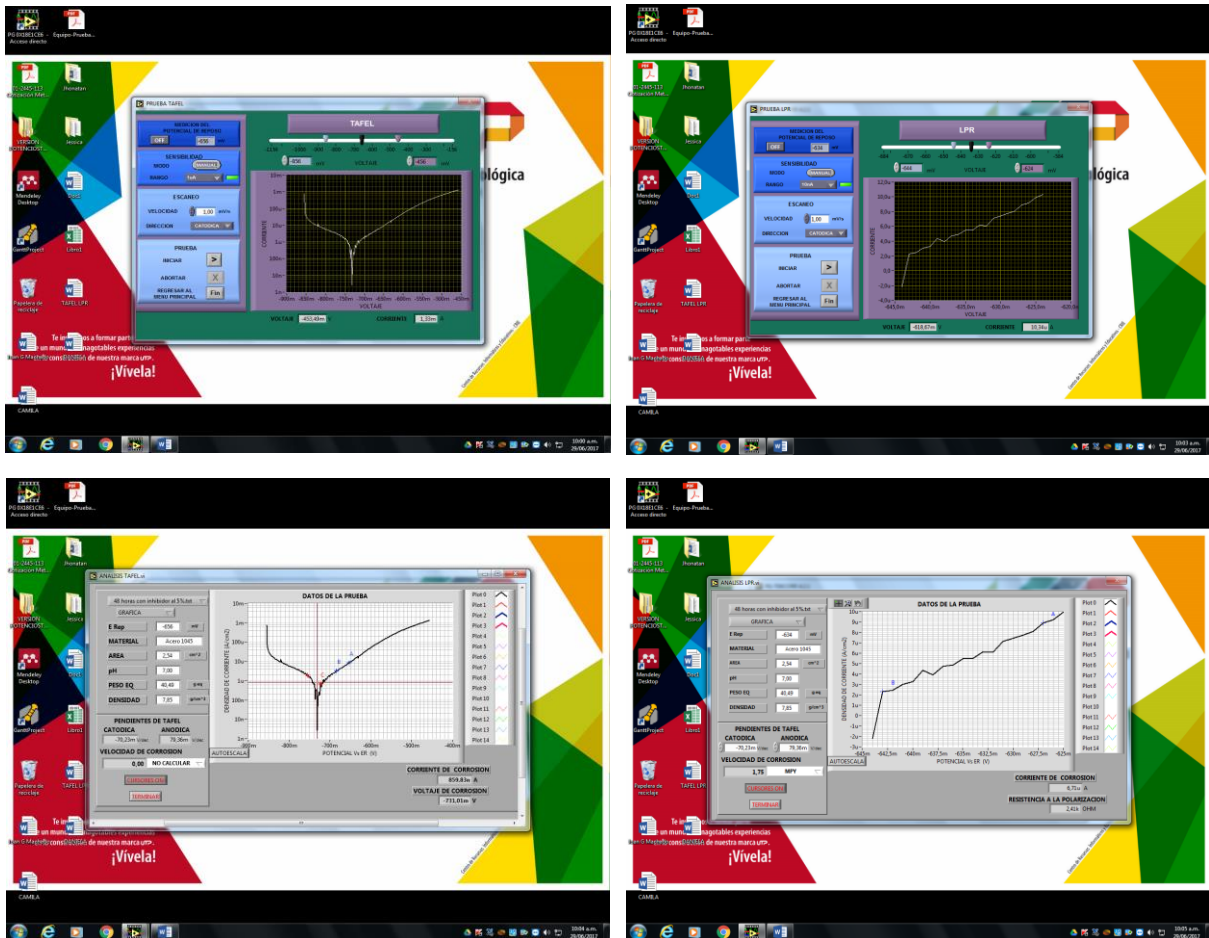




## Anexo F Pruebas electroquímicas a las 24 horas con inhibidor al 5%.



## Anexo G Pruebas electroquímicas a las 48 horas con inhibidor al 5%.





## Anexo G Pruebas electroquímicas a las 72 horas con inhibidor al 5%.

